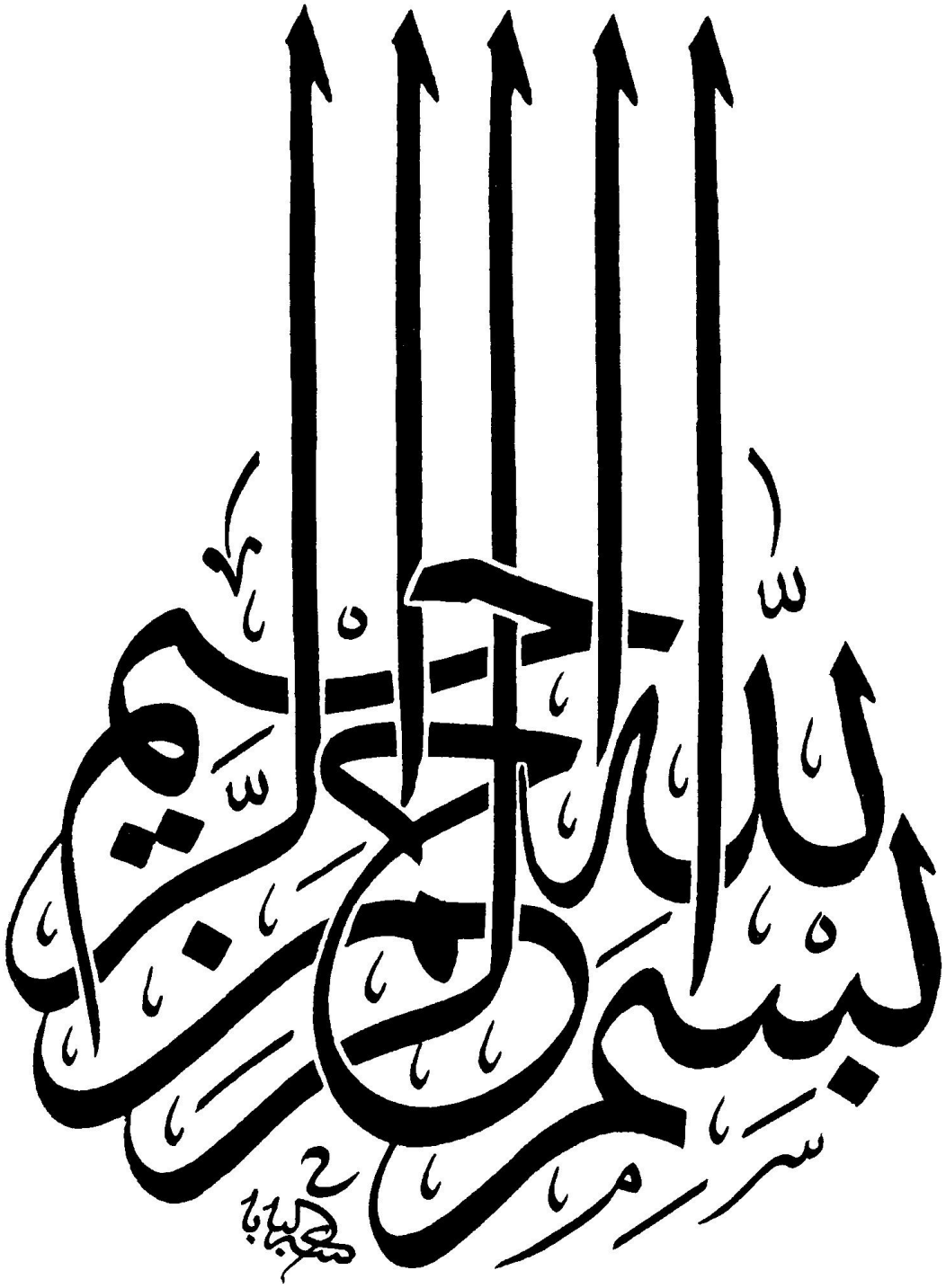
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده برق و کامپیوتر
گروه قدرت

پایان نامه
جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق – قدرت

تخمین و کاهش تلفات بصورت بلادرنگ با پیکربندی مجدد شبکه در سیستم توزیع

استاد راهنما : دکتر احمد میرزایی

استاد مشاور : دکتر بهزاد میرزائیان دهکردی

پژوهش و نگارش : امیر جوانی جونی

مهرماه ۹۰

چکیده

محاسبه و کاهش تلفات در شبکه برق بی‌شک یکی از فعالیت‌هایی است که بازده اقتصادی فراوانی برای شرکت‌های برق به همراه دارد. در این پایان نامه ابتدا تلفات شبکه توزیع محاسبه شده و سپس اقدام به کاهش تلفات شده است. برای محاسبه تلفات از تخمین تلفات بوسیله شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است که این روش نسبت به روش‌های محاسباتی دارای سرعت پردازش مطلوب است و همچنین نیاز به اطلاعات فراوان برای بدست آوردن تلفات ندارد. این اطلاعات فراوان در شبکه توزیع اغلب یا در دسترس نیستند و یا بدست آوردن آنها خسته کننده و زمانبر است. بنابراین محاسبه تلفات به صورت محاسباتی در شبکه توزیع عملاً امکان پذیر نیست. بعد از تخمین تلفات در شبکه توزیع اقدام به اجرای بازآرایی شده است تا بواسطه آن تلفات کاهش داده شود. در واقع تخمین تلفات در یک شبکه با چندین فیدر که با کلیدهای مانور بیکدیگر متصل شده‌اند انجام می‌گیرد تا فیدر ضعیف که دارای پارامترهای نامطلوب است که یکی از این پارامترها تلفات است شناسایی شده و با اجرای بازآرایی و بهبود توزیع بار در شبکه شرایط نامطلوب فیدر اصلاح شده و تلفات شبکه کاهش داده شود. ضرورت بیان این پایان‌نامه در این خواهد بود که بازآرایی در شبکه توزیع اکنون نه برای کاهش تلفات که صرفاً برای بهبود قابلیت اطمینان صورت می‌پذیرد و در این پژوهش تلاش صورت گرفته تا بازآرایی در خدمت کاهش تلفات قرار گیرد.

فصل اول

مقدمه

شبکه قدرت شامل سه بخش تولید، انتقال و توزیع نیرو است. انرژی الکتریکی پس از تولید در نیروگاه‌ها و عبور از شبکه‌های انتقال و توزیع به مصرف‌کنندگان می‌رسد در این مسیر مقداری از انرژی بدلایل مختلف تلف می‌شود این تلف شدن انرژی هزینه‌هایی به شرکت‌های برق وارد می‌کند از اینرو همواره تلاش‌هایی برای کاهش تلفات صورت گرفته است. آنچه لازمه کاهش تلفات است دانستن مقدار تلفات است بنابراین محاسبه و کاهش تلفات از دیرباز مورد توجه محققین بوده است.

یکی از قدیمی‌ترین مراجع مورد بررسی در زمینه محاسبه تلفات مرجع[۱] است که در آن به بررسی تلفات توان و محدودیت‌های گرمایی در سطوح ولتاژ متفاوت می‌پردازد. در [۲] محاسبه تلفات با بهره‌گیری از پخش بار چهار سیمه برای بدست آوردن پروفیل بار انجام شده است. برنامه پخش بار اجرا شده قابلیت در نظر گرفتن سیم زمین و بدین ترتیب مدلسازی دقیقتر بار را داراست. در زمینه تخمین تلفات شبکه توزیع بوسیله شبکه‌های هوشمند یکی از اصلی‌ترین تحقیقات گذشته مورد بررسی مرجع [۳] است که در آن مدل رگرسیون پیشنهاد می‌شود و با استفاده از پارامترهای اصلی در زمینه تلفات یک فیدر توزیع از قبیل بارگذاری فیدر توزیع، طول فیدر توزیع و ضریب قدرت اقدام به تخمین تلفات شبکه توزیع شده است. یکی از روش‌هایی که اخیراً بسیار مورد بررسی قرار گرفته است روش Top/Down , Bottom/Up است که بدلیل عدم نیاز به اطلاعات بسیار برای محاسبه تلفات بویژه در کشورهای در حال توسعه مورد تحقیقات بسیاری بوده است از آن جمله می‌توان به مراجع [۴و۵] اشاره کرد. در مرجع [۶] تلفات شبکه

توزیع با در نظر گرفتن سه پارامتر اصلی که عبارتند از بارگذاری فیدر در شبکه توزیع، ظرفیت نهایی ترانسفورماتور توزیع و طول فیدر بوسیله شبکه عصبی مصنوعی تخمین زده می‌شود و برای تعیین حساسیت تلفات به هر یک پارامترها از پخش بار استفاده شده است. مرجع [۷] با اشاره به تفاوت قابل ملاحظه‌ی مقدار تلفات واقعی و تلفات تخمین زده شده با روش‌های گذشته به ارائه راهکاری می‌پردازد تا بواسطه آن مقدار این خطا کاهش داده شود و حاصل این راهکار رابطه‌ای محاسباتی است. یکی از روش‌های دیگر که در مرجع [۸] مورد بررسی قرار گرفته است محاسبه تلفات ترانسفورماتور توزیع است که در آن مقدار تلفات ترانسفورماتور، پروفیل بار و ظرفیت ترانسفورماتور برای چند ترانسفورماتور در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شود سپس جهت بدست آوردن تلفات سایر ترانسفورماتورها که اطلاعات مربوط به آنها در دسترس نیست از این بانک اطلاعاتی استفاده می‌شود. مرجع [۹] بدنبال جایگزین‌هایی برای ارزیابی تلفات ترانسفورماتورهای شبکه توزیع بوسیله شبکه عصبی است. در این پایان‌نامه برای ساخت داده‌های آموزشی از روش مدلسازی فیدر استفاده شده است که مرجع [۱۰] این روش را بسط داده است و باید گفت با توجه به استفاده از این روش در این پایان‌نامه در بخش چهارم آن به تفصیل این روش معرفی شده است. مرجع[۱۱] یکی دیگر از مراجعی است که بیان می‌کند با دانستن ویژگی‌های یک فیدر علاوه بر یافتن دید بهتر نسبت به پروفیل ولتاژ و یا تلفات فیدر می‌توان برنامه‌ریزی بهتری نسبت به شبکه داشت. برای ساخت داده‌های آموزشی برای بخش‌های مختلف شبکه توزیع اعم از خانگی، تجاری و صنعتی نیاز به پروفیل بار است که مرجع [۱۲] کمک شایانی از این جهت به این پایان‌نامه بوده است. در دهه اخیر یکی از بهترین تحقیقات که در زمینه مدلسازی فیدرهای توزیع و نیز اجرای پخش بار بوده و شایان تقدیر فراوان است مرجع [۱۳] است که در آن روش نوینی در جهت مدلسازی فیدر برای اجرای پخش بار معرفی شده است. در مراجع[۱۶-۱۴] اجرای بازآرایی برای کاهش تلفات و تعادل بار در سیستم توصیه شده است این مراجع که قدیمی‌ترین منابع مورد بررسی در زمینه بازآرایی هستند از روش‌های محاسباتی استفاده می‌کنند.

در مرجع [۱۷] مسئله بشدت غیرخطی بازآرایی بوسیله شبکه عصبی مورد حل قرار گرفته است. بطوریکه بعد از طراحی و ساخت داده‌های آموزشی، دو گروه شبکه عصبی که گروه اول برای تخمین سطوح بار مناسب و گروه دوم برای نشان دادن بهترین توپولوژی سیستم طراحی می‌شود. در ادامه روند تحقیقات علاوه بر کاهش تلفات بوسیله اجرای بازآرایی، کنترل همزمان خازن‌های شبکه مورد بررسی قرار گرفته و در [۱۸] از روش‌های محاسباتی استفاده شده است. تقریباً در سال‌های پایانی قرن ۲۰ تلاش‌ها برای اجرای بازآرایی با روش‌های ابتکاری مانند شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک وارد مرحله جدیدی شد که نتایج کاملتر آنرا در مطالعات دهه اخیر شاهد هستیم از آن جمله در مراجع [۱۹-۲۱] برای اجرای بازآرایی در جهت کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و تعادل بار در بین فیدرها و حتی بهبود قابلیت اطمینان از توابع چند منظوره فازی استفاده شده است. در [۲۲] الگوریتم سرد کردن فلزات برای اجرای بازآرایی و کنترل وضعیت کلیدهای خازنی شبکه بطور همزمان برای کاهش تلفات مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مراجعی که در تحقیقات اخیر از روش‌های محاسباتی استفاده کرده است مرجع [۲۳] است که در آن جریان شاخه‌ها از روش نیوتون (مشتق دوم) محاسبه شده و در این روش مزیت‌های سرعت بالا و رسیدن به مینیمم سراسری همزمان وجود دارد. در مرجع [۲۴] هدف از اجرای بازآرایی بهبود پارامترهای کیفیت توان از جمله بهبود پروفیل ولتاژ است. در مرجع [۲۵] بازآرایی در شبکه‌های ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط در نظر گرفته شده است که در آن هدف کاهش تلفات بوسیله جابجایی بین فازهای مشترکین و بوجود آمدن سیستم متعادل است و در این راستا از روش‌های ابتکاری استفاده شده است. مرجع [۲۶] برای اجرای بازآرایی از یک روش کدبندی جدید در الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است که سبب بهبود سرعت همگرایی می‌گردد.

این پایان‌نامه نیز در راستای تلفات ارائه شده است بطوریکه در آن ابتدا اقدام به تخمین و محاسبه تلفات می‌شود سپس برای کاهش تلفات برنامه‌ریزی می‌شود. در این پژوهش و در بخش دوم ابتدا تلفات دسته‌بندی می‌شوند و انواع تلفات اعم از تلفات فنی، تلفات غیرفنی و تجاری مورد بحث قرار می‌گیرد. البته شایان ذکر است که تلفاتی که در این پایان‌نامه در مورد محاسبه آن صحبت می‌شود تلفات فنی خواهند بود. در ادامه این فصل به محاسبه تلفات و روش‌های سنتی

بدست آوردن تلفات پرداخته می‌شود. سپس وارد بحث تخمین تلفات می‌گردد که روش این پایان نامه در یافتن تلفات است. در مبحث تخمین تلفات پارامترهایی مانند بارگذاری فیدر، طول فیدر و ظرفیت نهایی ترانسفورماتورهای توزیع معرفی و مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل دوم این پایان‌نامه شبکه عصبی معرفی می‌گردد شبکه‌های عصبی موجودات زنده و سپس شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی می‌شوند. سپس شبکه عصبی پسخور پیشرو بعنوان شبکه‌ای که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته است معرفی می‌شود. در ادامه بوسیله داده‌های آموزشی که در بخش چهارم پایان‌نامه ساخته می‌شود و با در نظرگیری ۳ پارامتر اصلی معرفی شده در انتهای بخش اول شبکه عصبی آموزش داده می‌شود. در بخش چهارم این پایان‌نامه ساخت داده‌های آموزشی و نحوه پردازش این داده‌ها بعنوان اصل آموزش یک سیستم هوشمند مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش پنجم این پایان‌نامه بازآرایی بعنوان روشی برای کاهش تلفات و همچنین روشی برای ایجاد تنوع داده‌های آموزشی معرفی می‌گردد. در بخش پنجم روشی نوین به کمک سیستم‌های اتوماسیون و بلادرنگ معرفی می‌شود که بوسیله بازآرایی تلفات شبکه توزیع را با کمترین تجهیزات کاهش می‌دهد.

فصل دوم

تلفات

۲- مقدمه

ضرورت پرداخت به بحث تلفات در جامعه مهندسی برق ایران یک ضرورت انکار ناپذیر و آشکار به شمار می‌رود با توجه به معتبرترین آمار در دسترس از میزان تلفات ۲۳,۳٪ کل سطوح سیستم برق کشور اعم از توزیع، تولید و انتقال. توزیع ۵۵٪ از این مقدار یعنی ۱۲,۹٪ از تلفات را به خود اختصاص می‌دهد و این در حالی است که میزان تلفات موجود در سطوح انتقال و تولید تقریباً اجتناب ناپذیر است اما نکته به همین جا ختم نمی‌شود زیرا تلفات توان که با مجذور بارهای عبوری از اجزا سیستم متناسب است در ساعات پیک بار از مقدار متوسط تلفات توان بسیار بیشتر خواهد بود این بدان معناست که در سخت ترین شرایط یعنی در زمان پیک بار بیشترین مقدار تلفات را نیز خواهیم داشت با بررسی شبکه‌های توزیع مشخص می‌شود که با اتخاذ تمهیداتی می توان از میزان تلفات تا حدود زیادی کاست در مجموع عوامل موثر در تلفات شبکه‌های توزیع دارای تعدد زیادی هستند که بطور کلی آنها به سه دسته تلفات فنی شبکه و تلفات غیر فنی شبکه و تلفات تجاری تقسیم می‌شوند. که اجزا تلفات الکتریکی به شرح ذیل می باشد. [۲۸]

۲-۱- انواع تلفات

تلفات سیستم قدرت به سه گروه تلفات فنی ,تلفات غیر فنی و تلفات تجاری قابل دسته بندی می‌باشند. اگر کل تلفات، معادل تفاضل انرژی تولید شده و انرژی فروخته شده در نظر گرفته شود باید تلفات تجاری را نیز به شرح زیر به آن افزود.[۲۸]

تلفات تجاری + انرژی فروخته شده - انرژی تولید شده = تلفات کل

در واقع در رابطه فوق داریم :

تلفات غیر فنی + تلفات فنی = انرژی فروخته شده - انرژی تولید شده

که تلفات فنی اصطلاحاً به آن دسته از تلفات انرژی اطلاق می‌شود که به حرارت تبدیل می‌گردند و عمدتاً به دلیل بهینه نبودن سیستم و اجزاء آن صورت می‌گیرد در حالی که تلفات غیر فنی به تلفاتی گفته می‌شود که بیشتر جنبه اندازه گیری و محاسباتی دارند. اما تلفات تجاری دارای ماهیتی متفاوت از دو نوع تلفات فنی و غیر فنی است و در واقع یک نوع هدر رفتن مستقیم انرژی نمی‌باشد بلکه به آن دسته از زیان‌های اقتصادی اطلاق می‌شود که در اثر قطع برق و یا مشکلات کیفیت توان دامنگیر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان انرژی الکتریکی می‌گردد .

در این فصل هر یک از تلفات فوق با جزئیات بیشتری مورد تحلیل و تشریح قرار خواهند گرفت.

۲-۲- تلفات فنی

همانطور که اشاره شد تلفات فنی به دسته ای از تلفات سیستم قدرت گفته می‌شود که به نوعی منجر به تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت، از آغاز تولید تا مرحله تحویل به مشترک می‌گردد. تلفات فنی که در بسیاری از موارد به جای کل تلفات سیستم قدرت اشتباه گرفته می‌شود مشتمل بر طیف وسیعی از انواع تلفات می‌باشد که در این بخش تحت دو عنوان تلفات انتقال و تلفات توزیع تشریح گردیده‌اند. معمولاً تلفات سیستم تولید (نیروگاه‌ها) در زمره تلفات سیستم قدرت محاسبه نمی‌شوند و نیروگاه‌ها به عنوان واحدهای صنعتی تلقی می‌گردند که فروش برق به شبکه را بر عهده دارند و کلیه انرژی‌های مصرف شده در نیروگاه به عنوان مصرف داخلی آن لحاظ می‌گردد که بعضاً قابل کاهش است.

۲-۲-۱- تلفات در شبکه انتقال

تلفات فنی در شبکه انتقال دارای ابعاد بسیار گسترده ای می‌باشد که در این بخش مورد اشاره قرار خواهند گرفت:

تلفات ناشی از مقاومت خطوط: این نوع تلفات که در اثر مقاومت الکتریکی هادی در مقابل عبور جریان ایجاد می‌شود در واقع مهم ترین تلفات سیستم انتقال است و همانگونه که بعداً ملاحظه خواهد شد، سایر انواع تلفات انتقال به نحوی در افزایش این نوع تلفات سهیم می‌باشند. این تلفات در یک سیستم سه فاز متقارن، تابعی از مقاومت AC خطوط و مجذور جریان موثر عبوری است. قطعاً افزایش سطح مقطع هادی‌ها که منجر به کاهش مقاومت خطوط می‌شود با قیود اقتصادی محدود می‌گردد لذا پذیرفتن سطح استاندارد برای آن‌ها و بالطبع تلفات معین در این مورد اجتناب ناپذیر است. فرسودگی و عمر زیاد هادی‌ها (مس یا آلومینیوم)، رسانایی آنها را کاهش می‌دهد و منجر به افزایش تلفات می‌گردد. همچنین طول زیاد خطوط انتقال اگر چه در اکثر موارد ناگزیر می‌باشد علاوه بر افزایش سایر مشکلات انتقال، تلفات خطوط را بالا می‌برد. باید متذکر شد که اتصال نامناسب هادی‌ها می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه ای در افزایش مقاومت خطوط و بالطبع تلفات آنها داشته باشد.

تلفات ناشی از فرسودگی تجهیزات: گذشت زمان خاصیت رسانایی هادی‌های مسی را کاهش داده و منجر به افزایش مقاومت وصل کلیدهای قدرت می‌گردد. تلفات آهنی هسته ترانسفورماتورها با افزایش عمر، فزونی می‌گیرند و همچنین تلفات عایقی تمامی‌تجهیزات به دلیل ضعف عایقی ناشی از طول عمر، به شدت بالا می‌رود.

تلفات کرونا : یکی از تلفات قابل توجه در سیستم‌های قدرت الکتریکی ولتاژ بالا (سیستم انتقال) تلفات کرونا است. پدیده کرونا که نتیجه یونیزاسیون هوای اطراف‌هادی دارای ولتاژ بالا است، به همراه‌اله ای از نور بنفش رنگ و نویز آکوستیک و الکترومغناطیسی بوده و کاربرد زیادی در بسیاری از صنایع (به ویژه فیلترینگ) دارد، در خطوط انتقال ولتاژ بالا

می‌تواند. سهم عمده ای از توان را در خود تلف نماید . قطعاً استفاده ازهادی‌های گروهی (باندل‌ها) تا حد زیادی در کاهش اینگونه تلفات موثر است. اما باید به خاطر داشت که گذشت زمان، در اثر خوردگی و رسوب آلاینده‌ها بر سطوح ولتاژ بالا از جمله خطوط انتقال، ناهمواریها و نقاط تیزی بر روی آنها ایجاد می‌کند که میدان الکتریکی اطراف خود و بالطبع پدیده کرونا را بشدت تقویت می‌نماید

تلفات عایقی : عایقهای مورد استفاده در سیستم‌های ولتاژ بالا ی جریان متناوب عمدتاً دو نوع تلفات جدی را متحمل می‌گردند:

۱. جریان نشتی : جریان عبوری از سطح ولتاژ بالا به سطح ولتاژ پایین عایق که تابعی از مقاومت عایقی و اختلاف پتانسیل دو سر آن است را جریان نشتی می‌گویند. البته تلفات ناشی از این جریان که معمولاً مقدار ناچیزی است تنها پس از افزایش عمر عایق و کاهش مقاومت الکتریکی آن قابل توجه می‌گردد. نقاط عایقی تخریب شده و یا نقاطی که به صورت صحیح ترمیم نشده‌اند می‌توانند در این خصوص بسیار صدمه پذیر باشند.

۲. تلفات هیسترزیس : واضح است که عایق‌های مجاور با هادی‌های عبور دهنده جریان متناوب، متحمل شدت میدان مغناطیسی متناوبی، متناسب با آن جریان خواهند بود که طبیعتاً در آنها تلفات هسیترزیس قابل توجهی ایجاد می‌کند. این تلفات به صورت قابل توجه در کابل‌های جریان بالا مشاهده می‌شود.

تلفات ناشی از عدم تقارن فازها : در صورت وجود عدم تقارن فازها (که البته در سیستم انتقال بسیار ناچیز است) تلفات برآیند سه فاز بیش از حالت متقارن در سه فاز خواهد بود. به عبارت دیگر شباهت یکسان در مشخصات و پارامترهای الکتریکی فازهای یک خط که اغلب امری قطعی فرض می‌شود در عمل متفاوت خواهد بود. مهمترین عامل وقوع چنین مشکلی در شبکه انتقال، عدم جابجایی فازها به دلیل مشکلات فنی و اقتصادی می‌باشد.

تلفات ناشی از اضافه بار : تلفات ناشی از اضافه بار کابل‌ها، و ترانسفورماتور و سایر تجهیزات سیستم انتقال که به معنی عبور جریان بیش از مقدار نامی‌از آنها است تلفات توان اهمی در آنها را به صورت صعودی افزایش می‌دهد. البته باید متذکر شد که این افزایش تلفات

اهمی، افزایش دمای تجهیزات نسبت به سطح نرمال و بالطبع افزایش تلفات عایقی و احیاناً آهنی را نیز به دنبال خواهد داشت. همچنین، اضافه بار شدن تجهیزات دارای هسته مغناطیسی غیر خطی از قبیل ترانسفورماتورها و CTهای اندازه گیری می‌تواند منجر به ورود نقطه کار آنها به ناحیه اشباع منحنی B-H گردد که در نتیجه هارمونیک‌های رتبه پایین بویژه‌هارمونیک‌های مضارب ۳ بر روی ولتاژ ایجاد می‌کنند که خود، همانگونه که بعدا ذکر خواهد شد منشاء تلفات بیشتری است.

تلفات ناشی از پخش بار نامناسب : پخش بار در سیستم انتقال متداول، متاثر از توپولوژی شبکه و برنامه ریزی تولیدهای واحدهای مختلف نیروگاهی است. ولی ساختار موجود شبکه و همچنین برنامه ریزی تولید مورد استفاده در بسیاری از مواقع بهترین حالت نیست و طبیعتاً کمترین تلفات را شامل نمی‌شود. در واقع می‌توان با ایجاد تغییر در ساختار شبکه به طرق مختلف و همچنین برنامه ریزی بهینه تولید، پخش بار سیستم را به شکلی تغییر داد که تلفاتی کمتر از مقادیر قبلی داشته باشد، که به آن پخش بار بهینه می‌گویند.

تلفات ناشی از عبور توان راکتیو : توان راکتیو مورد نیاز بار و عناصر ذخیره کننده انرژی سلف و خازن شبکه (از جمله خود خطوط ، ترانسفورمرها و ...) برحسب نوع بار در شبکه جاری می‌باشد . عبور توان راکتیو از شبکه علاوه بر بروز مشکلات جدی از قبیل اشغال ظرفیت شبکه و افت ولتاژ ، منجر به تلفات جدی انرژی نیز می‌گردد. نظر به اینکه تولید یا مصرف این نوع توان بر خلاف توان اکتیو نیازمند تامین انرژی از نیروگاه نمی‌باشد، با تامین و مصرف آن در محل ، توسط بانک‌های خازنی با راکتورها ، می‌توان میزان عبور توان راکتیو از شبکه را کاهش داد که قطعاً منجر به کاهش تلفات راکتیو شبکه می‌گردد.

تلفات ناشی از انتشار امواج الکترومغناطیسی در اشیاء فلزی : نظر به اینکه انرژی الکتریکی در شبکه انتقال از نوع امواج الکترومغناطیس می‌باشد و با توجه به سطح بالای ولتاژ و جریان در آنها ، علی رغم فرکانس پایین سیستم قدرت ، همواره مقداری انرژی در ساختارها و پایه‌های فلزی مجاور هادی از طریق میادین قوی الکترومغناطیس القا شده و تلف می‌گردد.

البته بطور معمول بدلیل ناچیز بودن این درصد تلفات و مشکلات محاسباتی آن ، از این گونه تلفات صرفنظر می‌شود.

۲-۲-۲- تلفات در شبکه توزیع :

معمولاً در کل سیستم‌های قدرت بالاترین سهم تلفات به سیستم توزیع اختصاص دارد که البته دلیل این امر را باید در گستردگی سطح و کثرت ادوات موجود در این سیستم ، به همراه ویژگی‌های دیگری از جمله بارهای تکفاز و سطح ولتاژ پایین آن جستجو نمود. در ادامه مهمترین موارد تلفات انرژی الکتریکی در سیستم‌های توزیع مورد مطالعه قرار گرفته اند.

تلفات ناشی از مقاومت خطوط : مقاومت هادی‌ها همانند آنچه که در بحث تلفات انتقال مطرح گردید برجسته ترین عامل تلفات سیستم‌های توزیع می‌باشند. البته باید بخاطر داشت که در سیستم‌های توزیع مقاومت نسبی خطوط بالاتر است و بدلیل گستردگی و اتصالات متعدد، در صورت عدم رعایت صحت اتصالات، این مقاومت و در نتیجه تلفات افزایش بیشتری خواهد داشت. .

تلفات ناشی از عدم تقارن خطوط : عدم تقارن خطوط در سیستم توزیع (که البته نه به دلیل متفاوت بودن مشخصات هادی‌های فازها بلکه به دلیل عدم جابجایی فازها بوجود می‌آید) منجر به ایجاد عدم تعادل شبکه از دیدگاه بار می‌شود که به نوبه خود عدم تعادل جریان فازها و تلفات ناشی از آن را به دنبال خواهد داشت.

تلفات ناشی از عدم تعادل فازها : بارهای تک فاز سیستم توزیع به همراه عدم تقارن فازها باعث می‌شود که بعضاً عدم تعادل شدید در پی داشته باشد. از طرف دیگر عدم تعادل فازها منجر به جریان سیم نول می‌شود که در نتیجه تلفات انرژی در این سیم نیز به تلفات افزوده می‌گردد.

تلفات ناشی از اتصال زمین نامناسب : سیستم زمین نامناسب و یا فرسوده، مقاومت الکتریکی زیادی پیدا می‌کند و این مساله در سیستم‌های نامتعادل منجر به عدم تعادل ولتاژ و

تلفات انرژی ناشی از آن خواهد شد.

تلفات ذاتی ترانسفورماتورها ، تجهیزات اندازه گیری و ... : همانند سیستم انتقال، در شبکه‌های توزیع نیز توان عبوری در سر راه خود از تجهیزات متعددی عبور می‌نماید که هر یک بر حسب نوع، تکنولوژی ساخت و عمر خود درصدی از انرژی را تلف می‌نمایند . بیشترین تلفات این بخش متعلق به ترانسفورماتورهای توزیع است که بطور گسترده در سیستم بکار گرفته می‌شوند.

تلفات عایقی تجهیزات : اگرچه سطح ولتاژ پایین در سیستم توزیع ، تلفات عایقی تجهیزات را نسبت به سایر انواع تلفات کمرنگ می‌سازد لیکن با توجه به گستردگی و کثرت تجهیزات دارای این تلفات، در مجموع، این نوع تلفات قابل ملاحظه خواهد بود.

تلفات ناشی از اضافه بار تجهیزات : اضافه بار تجهیزات توزیع نیز همانند تجهیزات سیستم انتقال، منجر به افزایش صعودی تلفات در آنها می‌گردد. همچنین ایجادهارمونیک‌ها (بویژه‌هارمونیک‌های مضارب ۳) بدلیل وارد شدن به ناحیه اشباع ترانسفورماتورها و تلفات مرتبط به آنها از تبعات این افزایش بار از مقادیر نامی‌خواهد بود.

تلفات ناشی از ضریب بار پایین : طبیعتاً وجود پیک در منحنی بار روزانه مناطق مختلف توزیع، علاوه بر تحمیل هزینه‌های هنگفت، برنامه ریزی شبکه جهت تامین بار ساعات پیک را مشکل می‌نماید و تلفات تحمیل شده به شبکه را افزایش خواهد داد.

تلفات ناشی ازهارمونیک‌ها : همانطور که می‌دانیم ، سیستم توزیع بعنوان جبهه سیستم قدرت بطور جدی از بارهای خود تاثیر می‌پذیرد. بسیاری از بارهای جدید سیستم قدرت دارای ماهیت غیر خطی می‌باشند . این بارها که بدلیل پیشرفت صنعتی و مزایای خود هر روزه در حال افزایش می‌باشند ، عمدتاً از تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند که جریان غیر سینوسی از شبکه اخذ می‌نمایند . موارد عمده این تجهیزات عبارتند از لامپهای کم مصرف ، UPSها، کامپیوترها، ASDها و ... از طرف دیگر همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد بارهای الکتریکی دارای هسته آهن اشباع پذیر، نظیر ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی، در صورت اضافه بار شدن، با ورود به ناحیه غیر خطی منحنی مغناطیسی خود جریان مغناطیس کنندگی

غیر خطی از شبکه اخذ می‌کنند که ایجاد هارمونیک (بویژه‌هارمونیک‌های مضارب ۳) از مضرات آن است.

اثر پوستی : اثر پوستی مبین افزایش مقاومت اهمی‌هادی‌ها در مقابل عبور جریان متناسب نسبت به جریان DC بدلیل شار مغناطیسی متغیر با زمان ایجاد شده در اثر جریان است . در واقع مطابق این اثر ، مقاومت اهمی هادی و بالتبع تلفات الکتریکی آن با افزایش فرکانس جریان عبوری افزایش می‌یابد. بنابراین بدیهی است که افزایش سطح THD جریان که بمعنی افزایش میزان مولفه‌های جریان با فرکانس‌های بالاتر است مستقیما تلفات اهمی را ازطریق اثر پوستی افزایش می‌دهد. واضح است که این تلفات در تمامی هادی‌های حامل جریان، حتی سیم پیچ‌های ترانسفورماتورها نیز وجود دارد .

تلفات آهنی : تلفات آهنی در هسته ترانسفورماتورهای قدرت و اندازه گیری و همچنین ماشین‌ها، تابعی از فرکانس ولتاژ اعمال شده به آنها است. بنابراین وجود هارمونیک‌های ولتاژ در سیستم، این تلفات را بشدت افزایش می‌دهد.

تلفات عایقی : تلفات عایقی تجهیزات نیز عمدتاً ناشی از تلفات هیسترزیس در آنها است، که خود تابعی از فرکانس ولتاژ کار است . لذا این نوع تلفات نیز در اثر وجود هارمونیک‌ها ، رشد خواهد داشت.

تلفات از طریق سیم نول : هارمونیک مضارب ۳ در نقطه نول اتصالات ستاره، یکدیگر را خنثی نمی‌کنند بلکه با یکدیگر جمع شده و جریان قابل توجهی از سیم نول عبور می‌دهند که تلفات سیم نول را بشدت بالا می‌برد.

۲-۳- تلفات غیر فنی

همانگونه که قبلاً اشاره شد ، تلفات غیر فنی به قسمتی از تلفات انرژی اتلاق می‌شود که در دسته تلفات فنی جای نمی‌گیرند و بیشتر جنبه خطاهای محاسباتی و اندازه گیری دارند . در این قسمت، انواع تلفات غیر فنی در یک سیستم قدرت مرور گشته و هریک از آنها مختصراً توضیح داده خواهد شد.

۲-۳-۱- استفاده غیر مجاز از برق

موارد متعددی از استفاده‌های غیر مجاز یا اصطلاحاً برق دزدی وجود دارد که در زیر به آنها اشاره می‌شود :

- دستکاری در لوازم اندازه گیری و کنتورها : برخی مواقع مشترکین بصورت غیر مجاز کنتورهای خود را باز نموده و با دستکاری آن ، اعداد قرائت شده را به نفع خود تغییر می‌دهند و یا اینکه با به هم زدن تنظیم آن اعداد قرائت شده توسط کنتور را دچار خطا می‌کنند.

معیوب نمودن کنتورها : معیوب نمودن کنتورها و اجتناب از آگاه سازی به موقع مسئولین باعث ثبت نشدن مقادیر مصرفی طی حداقل یک دوره مصرف می‌گردد.

خارج کردن کنتورها از مدار : خارج نمودن کنتور از مدار بصورت کامل یا جزئی، سهم زیادی از انرژی مصرف شده را از پروسه اندازه گیری خارج می‌نماید .

انشعاب گیری مستقیم از شبکه‌های برق : این مورد که برخلاف سایر موارد قبل ، معمولاً جلوه ای کاملا آشکار دارد ، مشتمل بر مصرف کنندگانی می‌گردد که بدون داشتن حق امتیاز و مجوز قانونی و نصب کنتور از طرف شرکت برق ، بطور خود سرانه از طریق اتصالات سطحی ، از خطوط هوایی انرژی استفاده می‌نمایند. .

۲-۳-۲- فقدان سیستم اندازه گیری

در یک سیستم قدرت بعضاً بارهایی وجود دارند که بدلیل غیر اقتصادی بودن و یا کم توجهی فاقد سیستم اندازه گیری می‌باشند. بدیهی است که انرژی مصرفی این بارها اگرچه تولید و انتقال یافته است، غیر قابل اندازه گیری خواهد بود بنابراین در زمره تلفات غیر فنی جای می‌گیرد. برخی از اینگونه تلفات به شرح زیرند :

عدم قرائت صحیح کنتورها : عدم قرائت صحیح کنتورها توسط مامورین می‌تواند باعث

بی اثر شدن سیستم تعرفه چند نرخی گردد. در واقع ثبت مقدار انرژی مصرفی به میزان کمتر از مقدار واقعی می‌تواند نرخ تعرفه مشترک را از ردیف مشترکین پر مصرف به کم مصرف منتقل نماید.

روشنایی معابر : در برخی موارد روشنایی معابر فاقد سیستم اندازه گیری است

مصارف کشاورزی : بعضاً تعرفه ارزان قیمت بخش کشاورزی منجر به عدم توجه کافی در نصب کنتور برای اینگونه بارها گردیده است.

مصارف موسسات دولتی و منازل مسکونی : ممکن است موسسات و ادارت دولتی و یا پادگان‌هایی وجود داشته باشند که فاقد سیستم اندازه گیری انرژی الکتریکی وروردی باشند . همچنین باید منازل مسکونی سازمانی وابسته به آنها را نیز به این گروه افزود.

.

۲-۴- تلفات تجاری

این تلفات بصورت غیر مستقیم به مصرف انرژی وابسته اند . در واقع صرفنظر از موارد برق دزدی و موارد اندازه گیری نشده ، دسته ای دیگر از تلفات غیر فنی وجود دارند که مرتبط با ناکارآمد بودن سیستم محاسبات و سایر مشکلات جنبی می‌باشند و اصولا ضررهای اقتصادی را شامل می‌گردند . عمده ترین موارد این دسته به شرح زیرند:

قبوض پرداخت نشده: عدم پرداخت به موقع قبوض از طرف مشترکین منجر به تاخیر در بازگشت سرمایه و درنتیجه باعث ضرر شرکت برق خواهد شد.

صدور قبوض نادرست : محاسبات و یا سایر اشتباهات که منجر به صدور قبوض نادرست می‌گردد ، می‌تواند دقت صورت گرفته درسایر مراحل اندازه گیری را بی ثمر نماید و بخشی از بازگشت درآمد ناشی از فروش انرژی را هدر دهد.

قرائت ناهمزمان کنتورها : قرائت ناهمزمان کنتورها با روش‌های فعلی که توسط نیروی انسانی و با مراجعه حضوری در محل صورت می‌گیرد ، صرفنظر از اینکه مشکلاتی را درخصوص مسائل برنامه ریزی و توسعه شبکه ایجاد می‌کند موجب تبعیض در محاسبه بهای

انرژی مشترکین و احیاناً ضرر شرکت برق خواهد شد.

عدم نظارت بر دیماند خریداری شده توسط مصرف کننده : در بسیاری از بارهای صنعتی ممکن است توان مصرفی، بالاتر از سقف دیماند مورد توافق باشد و عدم نظارت بر این مساله می‌تواند منجر به اضافه بارشدن شبکه از طرف مشترکین و در نتیجه ، زیان شرکت برق گردد.

انرژی توزیع نشده : عدم توانایی سیستم در هر مرحله از تولید ، انتقال یا توزیع در تحویل انرژی به یکدیگر به نحوی که نتوانند آن را مطابق قرارداد در اختیار مشترک قرار دهند عملا به این معنی است که تمامی‌سرمایه‌های صرف شده در راستای احداث نیروگاه و شبکه جهت تامین بار ، بدلیل فروش نرفتن انرژی ، بلا استفاده مانده است که این طبیعتا نوعی زیان اقتصادی محسوب می‌شود. .

خسارات ناشی از قطع بار یا مشکلات کیفیت توان : خارج از استاندارد بودن کیفیت برق تحویلی به مشترک و یا قطع بار بدون هماهنگی و رضایت مشترکین می‌تواند به تجهیزات و محصولات آنها صدماتی وارد نماید که طبیعتاً پرداخت این زیان‌ها به عهده شرکت برق خواهد بود .

۲-۵- محاسبه تلفات

شرکت‌های برق معمولاً برای ارزیابی عملکرد بهینه خود، مقدار اتلاف توان حقیقی در سیستم قدرت را مورد بررسی قرار می‌دهند. رشد بار و وسعت زیاد ناحیه تحت پوشش یک موضوع قابل توجه است. اما آنالیز تلفات بسیار دشوار و غیرعملی بوده ، زیرا با حجم زیادی از اطلاعات روبرو است. بطور مثال حجم اطلاعات لازم برای بدست آوردن تلفات شبکه توزیع برق برای یک کلان شهر با صدها فیدر توزیع بسیار بالا خواهد بود. هادیهای اولیه، ثانویه و ترانسفورماتورها بیشترین سهم تلفات توان را در یک سیستم شامل می‌شوند، و در سمت دیگر عدم توازن بار برروی هادیها، ولتاژ فاز و تغییرات لحظه‌ای شبکه در تلفات سیستم مطرح است. از اوایل سالهای

۱۹۰۰ میلادی یعنی در مراحل اولیه بهره‌برداری در شبکه‌های برق رسانی، توجه به کاهش تلفات در دستور کار موسسات برقرسانی بوده است اما در دهه‌های اخیر و به خصوص از زمانی که نرخ سوخت به عنوان یکی از بخش‌های عمده هزینه تولید در نیروگاه‌ها مطرح گردید، همچنین با پیدایش بازار برق و اهمیت ویژه آن در صنعت برق مطالعات گسترده و روش‌های مختلفی جهت شناخت و کاهش تلفات انرژی الکتریکی تدوین و ارائه می گردد، لزوم کاهش تلفات یکی از اهداف وزارت نیرو منظور گردیده است تبعات فنی و اقتصادی کاهش تلفات در تولید و شبکه‌های انتقال و توزیع نیز مبحث مهم و گسترده‌ای است که باید مسئولین را بیشتر به اهمیت تبعات موضوع جلب کرد. همانطوری که گفته شد یکی از مهمترین بحث‌ها در بهره‌برداری بهینه کاهش تلفات انرژی می‌باشد. حال می‌توان گفت در راستای شناخت تلفات و کاهش آن باید به عنوان اولین گام اندازه واقعی تلفات مشخص شده باشد. در ادامه این بخش روش‌های محاسباتی تلفات معرفی می‌شود و سپس روش تخمینی تلفات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۵-۱- روش‌های کلاسیک محاسبه تلفات [۲۸]

روش اندازه گیری: این روش موقعی می تواند کاربرد داشته باشد که در کلیه مبادی ورودی و فیدرهای خروجی لوازم اندازه‌گیری نصب شده باشد بعبارت دیگر موقعی این شیوه قابل اجرا است که مجموع انرژی ورودی و خروجی در دوره مورد مطالعه دردست باشد ،چون از این طریق می‌توان میزان تلفات انرژی را تعیین نمود و یکی از نکات مهمی که در چنین مواردی مطرح می‌باشد اینست که چگونه می توان از صحت عملکرد لوازم اندازه گیری مطمئن شد و یا چگونه می توان مطمئن بود که تلفات اندازه گیری شده با واقعیت تطابق دارد.

روش محاسباتی : برای تعیین تلفات انرژی از طریق محاسباتی لازم است مقدار آن بکمک پخش بار محاسبه شود پخش بار در این روش ماکزیمم تلفات توان را در شرایط خاص نشان می دهد در چنین حالتی تلفات محاسبه شده تنها شامل تلفات ژول در خطوط وتلفات بارداری و بی

باری ترانسفورماتورها می باشد. محورهای اصلی روش‌های محاسبه و ارزیابی و اندازه‌گیری تلفات که در این تحقیق در مقالات متعدد مرور شده است به شرح ذیل می باشند : روش‌های اندازه گیری مستقیم تلفات که بر پایه نصب و قرائت کنتور و اطلاعات سیستم خدمات مشترکین و فروش و اخیرا سیستم AMR می باشد.

روش محاسبه تلفات مبتنی بر روابط تجربی که از ارتباط مابین تلفات و ضریب بار یا تلفات و بار حاصل می‌آید.

-بکارگیری روش‌های محاسباتی با استفاده از برنامه پخش بار و مدلسازی جزئیات اطلاعات شبکه و مدل بار در نرم افزار

-ترکیبی از روش‌های آماری و پخش بار برای محاسبه تلفات در شبکه‌های توزیع.

-محاسبه تلفات توان و انرژی در اجزا متفاوت سیستم‌های توزیع مانند ترانسفورماتورها، فیدرهای اولیه و ثانویه، بر اساس روش محاسبات درصد بار.

-محاسبه تلفات با اطلاعات بار تخمین زده شده از الگوی بار مشترکین و روش رگرسیون

-بکارگیری رهیافت (top/down,bottom/up) بمنظور تخمین تلفات در شبکه‌هایی که فاقد اطلاعات دقیق بمنظور مدلسازی می باشند که در این روش مشخصات فیدرها استخراج شده و فیدرها بر اساس شباهت‌های موجود دسته بندی می‌شوند و در ادامه توابع تلفات برای هر فیدر نماینده بدست می‌آید و تلفات هر فیدر بر اساس بار عبوری از آن محاسبه می‌شود.

-محاسبه تلفات بر اساس روش مجموع انرژی : بکارگیری الگوریتم خاصی از پخش بار که سرعت بسیار بالا و دقت مناسبی را ارائه می دهد.

۲-۶- تخمین تلفات

با توجه به مطالب بیان شده در بخش‌های قبل محاسبه تلفات یکی از سخت‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین بخش‌ها در مبحث تلفات است و یکی از اصلی‌ترین دلایل آن بالا بودن حجم